

Ministère des Ressources naturelles du Québec

Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier

Volet 1

**TITRE : IMPORTANCE DU SYSTÈME RACINAIRE ADVENTIF
 CHEZ LES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE :
 RAPPORT FINAL POUR LA PÉRIODE 1999-2000.**

Par : Éric Gagnon, étudiant 2e cycle
 Daniel Lord, professeur
 Jacques Allaire, agr.
 Denis Walsh, M.Sc.
 Université du Québec à Chicoutimi
 Département des Sciences fondamentales
 555, boul. Université
 Chicoutimi, Qué. G7H 2B1
 Tél. 418-545-5011 poste 5064
 Téléc. 418-545-5012

Promoteur : Barette-Chapais Ltée
 a/s M. Michel Deshaies
 C.P. 248
 Chapais, Qué. G0W 1H0
 Tel. 418-745-2545
 Téléc. 418-745-3079

Collaborateur : Yvon Bouchard, chef
 Martin Girard, ing. for.
 Unité de gestion de Chibougamau
 Ministère des Ressources naturelles
 624, 3e rue
 Chibougamau, Qué. G8P 1P1
 Tél. 418-748-2647
 Téléc. 418-748-3359

20 DÉCEMBRE 2000

RÉSUMÉ

Le système racinaire d'une épinette adulte noire issue de la régénération naturelle est composé de racines adventives qui se sont développées sur la tige à un moment ou l'autre de sa vie. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'importance d'enfouir la base de la tige de semis plantés afin de favoriser le développement des racines adventives. Des semis d'épinette noire ont été plantés en juin, août et septembre 1996 en utilisant trois méthodes de plantation (témoin, enfoui et pré-enfoui) sur trois types de sol (organique, minéral et 5 cm d'organique sur minéral). Depuis la plantation, la survie et la croissance des semis font l'objet d'un suivi annuel. En 1999, le taux de survie est de 86% pour l'ensemble de la plantation. Les semis plantés en juin étaient plus gros que ceux plantés en août et septembre puisqu'ils ont pu croître l'année de la plantation. Le type de sol a peu affecté la croissance des semis. Durant l'année de la plantation, 3% des semis dont la tige était enfouie ou pré-enfouie ont développé des racines adventives. Ce taux est passé à 40% en 1997, à 55% en 1998 et à 62% en 1999. Le développement du système racinaire adventif se fait au détriment du système racinaire original qui décline au profit du premier. Jusqu'à maintenant les traitements qui favorisent la formation de racines adventives affectent positivement la croissance en hauteur des semis. Le léger retard de croissance provoqué par le stress de l'enfouissement des semis lors de leur production ou au moment de la plantation a été rapidement comblé et les semis enfouis et pré-enfouis sont plus grand que les semis plantés témoin.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	vi
INTRODUCTION	7
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	9
Production des semis	9
Plantation des semis.....	10
Collecte des données.....	12
Traitement des données	12
RÉSULTATS.....	14
Survie de la plantation	14
Développement des racines adventives.....	14
Croissance des semis	15
Semis sans racines adventives et avec racines adventives	17
Lot commercial.....	17
DISCUSSION.....	18
Survie de la plantation	18
Croissance et racines adventives.....	18
Semis sans racines adventives et avec racines adventives	21
Lot commercial.....	21
CONCLUSION.....	22
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	23
REGROUPEMENT DES TABLEAUX ET FIGURES.....	25

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 1: CARACTÉRISTIQUES DES QUATRE LOTS DE GRAINES FOURNIES PAR LE CENTRE DE SEMENCES FORESTIÈRES DE BERTHIER.....	25
TABEAU 2: CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES SEMIS PRODUIT À L'UQAC AU MOMENT DE LA PLANTATION.....	25
TABEAU 3 : CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES DES SEMIS PRODUIT DANS UNE PÉPINIÈRE PRIVÉE AU MOMENT DE LA PLANTATION.....	26
TABEAU 4 : SCHÉMA D'UN BLOC EXPÉRIMENTAL.....	26
TABEAU 5 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU TAUX DE SURVIE EN FONCTION DES LOTS POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	27
TABEAU 6 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU TAUX DE SURVIE EN FONCTION DES DATES DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	27
TABEAU 7 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU TAUX DE SURVIE EN FONCTION DES MÉTHODES DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	27
TABEAU 8 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU TAUX DE SURVIE EN FONCTION DES TYPES DE SOL POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	28
TABEAU 9 : POURCENTAGE DE SEMIS AYANT DÉVELOPPÉ DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION ET DU TYPE DE SOL POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	28
TABEAU 10 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU NOMBRE DE SEMIS AYANT DÉVELOPPÉS DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DES DATE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	29
TABEAU 11 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU NOMBRE DE SEMIS AYANT DÉVELOPPÉS DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DES MÉTHODES DE PLANTATION ENFOUI ET PRÉ-ENFOUI POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGES.....	29
TABEAU 12 : ANALYSE DE KHI-CARRÉ DU NOMBRE DE SEMIS AYANT DÉVELOPPÉS DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DES TYPES DE SOL MIN ET ORG POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGES.....	29
TABEAU 13 : VALEUR DE P DE L'ANALYSE DE VARIANCE DE LA HAUTEUR DE LA TIGE ET DU DIAMÈTRE AU NIVEAU DU COLLET ET À 5 CM AU-DESSUS DU COLLET.....	30
TABEAU 14 : VALEUR DE P DE L'ANALYSE DE VARIANCE DE LA BIOMASSE SÈCHE DE LA TIGE ET DES RACINES NON-ADVENTIVES.....	30
TABEAU 15 : VALEUR DE P DE L'ANALYSE DE VARIANCE DE LA BIOMASSE SÈCHE DES RACINES ADVENTIVES.....	31

TABLEAU 16 : VALEUR MOYENNE DES PARAMÈTRES DE CROISSANCES DES SEMIS EN FONCTION DE LA DATE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE	31
TABLEAU 17 : VALEUR DE P DE L'ANALYSE DE VARIANCE DES SEMIS AVEC RACINES ADVENTIVES ET SANS RACINES ADVENTIVES DES PARAMÈTRES DE CROISSANCE MESURÉS DE 1996 À 1999	32
TABLEAU 18 : VALEURS MOYENNES DES PARAMÈTRES DE CROISSANCE DES SEMIS AVEC RACINES ADVENTIVES ET SANS RACINES ADVENTIVES POUR LES VARIABLES MESURÉES	32
TABLEAU 19 : VALEURS MOYENNES DES PARAMÈTRES DE CROISSANCE DES SEMIS DES LOTS 1, 2 ET 3 (UQAC) ET DU LOT 4 (PRIVÉE) POUR LA DATE DE PLANTATION, LA MÉTHODE DE PLANTATION ET LE TYPE DE SOL POUR L'ANNÉE D'ÉCHANTILLONNAGE 1999	32

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : SCHÉMA DES MÉTHODES DE PLANTATION.....	33
FIGURE 2 : POURCENTAGE DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE AYANT DÉVELOPPÉ DES RACINES ADVENTIVES EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	33
FIGURE 3 : HAUTEUR DE LA TIGE DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	34
FIGURE 4 : DIAMÈTRE AU NIVEAU DU COLLET DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	34
FIGURE 5 : BIOMASSE DE LA TIGE DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.	35
FIGURE 6 : BIOMASSE DES RACINES NON-ADVENTIVES DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.	35
FIGURE 7 : BIOMASSE DES RACINES ADVENTIVES DES SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION POUR LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE.....	36
FIGURE 8 : DIAMÈTRE AU NIVEAU DU COLLET ET DIAMÈTRE À 5 CM AU-DESSUS DU NIVEAU DU COLLET DE SEMIS D'ÉPINETTE NOIRE EN FONCTION DE LA MÉTHODE DE PLANTATION APRÈS LES QUATRE ANNÉES D'ÉCHANTILLONNAGE	36

INTRODUCTION

Le système racinaire de l'épinette noire adulte est constitué de racines latérales de surface distribuées radialement (Strong et Laroie, 1983). Ces racines se situent généralement dans le sept à dix premiers centimètres de sol et elles ne dépassent guère les trente centimètres de profondeur. Cette distribution en surface des racines se vérifie également chez des épinettes noires provenant de plantation (Armson, 1972). Ces racines ont toutes les chances d'être des racines adventives, c'est-à-dire des racines qui se développent sur un organe autre que les racines, habituellement la tige (Sutton et Tinus, 1983). Effectivement, il est connu depuis longtemps que l'épinette noire est une espèce qui développe un système racinaire adventif dominant ; celui-ci peut même prendre préséance sur le système racinaire initial issu de la graine (LeBarron, 1945 ; DesRochers et Gagnon, 1997).

Ces observations ne semblent pas avoir été considérées dans la plupart des actions liées à l'aménagement forestier. McClain (1981) mentionne que le système racinaire de l'épinette noire doit s'exprimer pour la croissance normale de l'arbre et en pratique, la sylviculture actuelle n'en tient malheureusement pas compte. Sutton (1995) suggère que les semis d'épinette noire soient plantés plus profondément pour favoriser le développement de racines adventives. L'enfouissement de la tige est une condition obligatoire pour assurer le développement de racines adventives (Lebarron, 1945 ; McClain, 1981 ; Stroempl, 1990 ; Cloutier et Fillion, 1995 ; Aubin, 1996). Il pourrait donc être intéressant de favoriser le développement de racines adventives lors de la période de production des semis ou au moment de la plantation par l'enfouissement de la tige des semis dans le sol.

Les objectifs de ce projet sont d'évaluer si l'enfouissement de la tige au moment de la production des semis ou de la plantation permet le développement d'un système racinaire adventif caulinaire et de voir les effets du type de sol, de la population de semis et de la date de plantation sur le développement de ces racines adventives, sur la croissance des semis et sur le taux de survie.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Production des semis

Trois lots d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP.) ont été produits pour cette expérience aux serres du Pavillon de la Recherche Forestière de l'UQAC (latitude 48°25', longitude 71°04'). Les semences des trois lots ont été fournies par le Centre de semences forestières de Berthier (tableau 1). Les semis d'un quatrième lot provenant d'une pépinière privée (latitude 48°33', longitude 71°20') ont aussi été mis en terre dans les mêmes sites pour comparer des semis produits commercialement à ceux produits à l'UQAC.

Deux méthodes ont été utilisées pour produire les semis. La première était une méthode standard utilisée dans la production commerciale de plants forestiers dans des récipients 45-110 (Lord et al, 1993). La seconde méthode permet le développement d'un système racinaire adventif durant la période de production en serres, avant leur plantation (méthode du pré-enfouissement). Les semis ont d'abord été cultivés dans des récipients 67-50 jusqu'à la 16^e semaine, puis ils ont été transférés dans des récipients 45-110 en prenant soin d'enfouir dans la tourbe les cinq premiers centimètres de la tige. Les récipients ont été transférés à l'extérieur quatre semaines plus tard. Un échantillonnage de 180 semis (3 dates de plantation x 10 semis x 2 méthodes de production x 3 lots) a été effectué avant les plantations pour les caractériser (tableau 2). Un échantillonnage a également été effectué sur les semis plus âgés du lot 4 (60 semis, 3 dates de plantation x 10 semis x 2 méthodes de production x 1 lot, tableau 3).

Plantation des semis

Les sites expérimentaux sont situés dans l'aire commune 26-20 du secteur de Chapais (site 1 : latitude 49°17'30'' N, longitude 75°13' O et site 2 : latitude 49°19'30'' N, longitude 75°12' O). Les sites étaient scarifiés et avaient déjà été reboisés de façon conventionnelle en 1995. Les semis expérimentaux ont été plantés en 1996 à travers cette plantation.

Le plan expérimental était un dispositif factoriel aléatoire incomplet par bloc combinant 5 blocs, 3 lots, 3 dates de plantation, 3 méthodes de plantation, 3 types de sol et 7 dates d'échantillonnage pour un total de 2520 semis (tableau 4).

Les blocs 1, 2 et 3 étaient situés dans un site mésique où la couche de matière organique est épaisse et bien décomposée, alors que les blocs 4 et 5 étaient situés dans un site xérique où la couche de matière organique est mince et peu décomposée.

Sept parcelles par bloc correspondant chacune à une date d'échantillonnage ont été plantées en 1996 ; tous les plants d'une parcelle seront mesurés la même année. Ces échantillonnages ont été planifiés pour l'automne 1996, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003 et 2006.

Les trois niveaux du facteur LOT correspondaient aux trois provenances de graines, soit les lots 1, 2 et 3 (tableau 1). Les trois niveaux du facteur DATE correspondaient à trois dates de plantation, soit JUIN, AOÛT et SEPTEMBRE. La première plantation a été effectuée entre le 17 juin et le 9 juillet 1996. La seconde s'est fait du 6 au 14 août et la troisième du 3 au 10

septembre de la même année. Il est à noter que la fonte des neiges tardives du printemps 1996 et les arrêts de travail en forêt causés par des incendies de forêt nous ont obligé à étaler le travail de la première plantation sur une plus longue période soit 22 jours entre le début et la fin de cette plantation.

Le facteur MÉTHODE avait trois niveaux : PRÉ-ENFOUI, ENFOUI et TÉMOIN. Pour le niveau PRÉ-ENFOUI, les semis produits par la méthode du pré-enfouissement décrite précédemment étaient plantés avec le dessus de la carotte de tourbe au niveau du sol (figure 1). Les semis ENFOUI étaient plantés plus profondément, soit en plaçant le collet à 5 cm sous la surface du sol. Les semis TÉMOIN étaient plantés pour que le collet soit au niveau du sol comme il est suggéré dans les normes de plantation du MRN. Le facteur SOL comprenait trois niveaux : ORGANIQUE, MINÉRAL et ORGANIQUE SUR MINÉRAL. Le niveau ORGANIQUE correspondait à des microsites où la matière organique était épaisse. Le niveau MINÉRAL correspondait à des microsites où le sol était minéral. Le niveau ORGANIQUE SUR MINÉRAL correspondait à des microsites où il y avait une couche de sol organique d'environ 5 cm au-dessus du sol minéral. Huit combinaisons méthodes-sols ont donc été étudiées. La combinaison plantation TÉMOIN et sol ORGANIQUE SUR MINÉRAL n'a pas été utilisée puisqu'elle n'apporte aucune condition nouvelle pour des semis non-enfouis comparativement aux autres combinaisons.

Collecte des données

Ce travail présente les résultats des quatre premières récoltes effectuées du 15 au 16 octobre 1996, du 6 au 8 octobre 1997, du 21 au 23 septembre 1998 et du 7 au 9 septembre 1999. Les taux de survie ont été compilés au même moment à l'exception de celui de 1997 qui a été effectué en juillet.

L'échantillonnage de l'automne 1996 comprenait 357 plants sur une possibilité de 360 (trois plants morts), 346 plants ont été retrouvés en 1997, 323 plants en 1998 et 305 plants en 1999. Les relevés de survie annuelle ont été effectués en répertoriant chacun des plants et en notant s'il était mort ou vivant, les 1440 semis des parcelles non-échantillonnées ont été utilisés (4 dates d'échantillonnage x 360 semis).

Les semis ont été conservés en chambre froide jusqu'au moment des mesures. Une fois les racines nettoyées, la hauteur de la tige, le diamètre au collet, le diamètre à 5 cm au-dessus du collet (échantillonnage 4 seulement), la biomasse sèche de la tige et la biomasse sèche des racines non-adventives ont été mesurés sur chacun des semis. Une attention particulière a été portée aux racines adventives caulinaires qui ont été dénombrées puis pesées.

Traitement des données

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel SAS system (SAS Institute Inc. 1990). Le test de Bartlett a été appliqué afin de vérifier l'homogénéité des variances et une transformation logarithmique a été effectuée lorsque nécessaire (Kirk, 1968 et Scherrer, 1984). Des analyses de

variance (procédure GLM) et des tests de comparaisons multiples (test de Tukey) ont été utilisés pour l'analyse de la hauteur de la tige, le diamètre au collet, le diamètre à 5 cm au-dessus du collet, la biomasse sèche de la tige, la biomasse sèche des racines non-adventives et adventives (Kirk, 1968).

Le test de Khi-carré a été utilisé pour analyser le pourcentage de survie et le pourcentage de semis ayant développé des racines adventives (Scherrer, 1984 et Zar, 1984). Pour la variable pourcentage de semis ayant développés des racines adventives, les trois lots ont été regroupés afin d'obtenir une quantité suffisante de plants pour l'analyse. Pour le facteur MÉTHODE, le traitement TÉMOIN n'a pas été utilisé dans l'analyse et pour le facteur SOL, le traitement ORGANIQUE SUR MINÉRAL n'a pas été utilisé dans l'analyse puisqu'ils ne sont pas complets. Les moyennes étaient jugées significativement différentes à $p < 0.05$.

RÉSULTATS

Survie de la plantation

Le taux de survie effectué à l'automne 1999 était supérieur à 86%. Ce taux était de 88% à l'automne 1998, de 95% à l'été 1997 et de 99% à l'automne 1996. Les analyses de Khi-carré ne montrent pas de différences significatives du taux de survie des semis entre les lots et les dates de plantation (tableau 5 et 6). Les analyses de khi-carrés montrent des différences significatives entre les méthodes de plantation en 1997 et 1998 (tableau 7) et entre les types de sol en 1999 (tableau 8). Les semis du traitement Enfoui ont subi une mortalité plus élevée lors des deux années suivant la plantation mais le taux de survie n'est pas significativement différent entre les trois traitements en 1999 (tableau 7). L'analyse du Khi-carré montre des différences significatives entre les sols en 1999, le taux de survie est légèrement supérieur dans les microsites minéral sans matière organique (tableau 8).

Développement des racines adventives

Des racines adventives se sont développées sur 53% de l'ensemble des semis et sur 62% de ceux qui ont été enfouis ou pré-enfouis en 1999 (tableau 9). Ces pourcentages étaient respectivement de 42% et 55% en 1998, 31% et 40% en 1997 et 2% et 3% en 1996.

L'analyse de Khi-carré des semis ayant développé des racines adventives ne montre pas de différences significatives entre les dates de plantation (tableau 10). Pour le facteur Méthode, il y a des différences significatives (Khi-carré) entre les traitements enfoui et pré-enfoui de 1996 à 1998 mais les différences ne sont plus significatives en 1999 (tableau 11). La méthode standard

de plantation au collet (témoin) ne permet pas d'obtenir rapidement des semis avec des racines adventives comparativement aux deux autres méthodes (figure 2). La méthode du pré-enfouissement permet d'obtenir très rapidement beaucoup plus de semis avec des racines adventives que la méthode d'enfouissement de la tige les trois premières années après la plantation mais la différence n'est plus significative en 1999. Le pourcentage de semis plantés dans le sol minéral développant des racines adventives n'était pas significativement différents des semis plantés dans le sol organique (tableau 12).

Croissance des semis

À l'automne 1996, des différences significatives sont observées entre les lots de semis pour la hauteur de la tige et le diamètre au collet (tableau 13), la biomasse de la tige et la biomasse des racines non-adventives (tableau 14). Pour la biomasse des racines adventives, les différences sont significatives en 1997 seulement. Donc pour ces variables, il y a un effet au départ, qui disparaît rapidement. Pour la variable hauteur de la tige, il y a un effet du facteur Lot qui persiste jusqu'en 1999, mais qui s'atténue aussi avec le temps (tableau 13).

L'ensemble des variables à l'exception de la biomasse des racines adventives montre des différences significatives entre les dates de plantation (tableau 13, 14 et 15). En 1996 et en 1997 les plants mis en terre en juin ont une biomasse des racines non-adventives inférieure à ceux plantés en août et septembre (tableau 16).

Des différences significatives sont observées entre les méthodes de plantation pour toutes les variables sauf le diamètre à 5 cm au-dessus du collet (tableau 13, 14 et 15). Ces effets sont présents à chaque année d'échantillonnage pour les variables hauteur de la tige, diamètre au niveau du collet et biomasse des racines non-adventives. Les semis pré-enfouis avaient une hauteur de tige inférieure aux deux autres méthodes l'année de la plantation (figure 3). Par la suite, ces semis ont rapidement comblé ce retard et dès 1997 ils avaient un léger avantage par rapport aux deux autres traitements. En 1998 et 1999, les semis des deux traitements favorisant le développement de racines adventives avaient une hauteur de tige supérieure aux semis témoins. Le diamètre au niveau du collet des semis pré-enfouis était toujours plus petit que les semis témoins lors des quatre années d'échantillonnage (figure 4). L'année de la plantation, les semis pré-enfouis avaient une biomasse de la tige plus faible que les autres méthodes (figure 5). Les échantillonnages subséquents (1997, 1998 et 1999) démontrent que ce retard a été comblé. Les semis pré-enfouis avaient une biomasse des racines non-adventives plus faible que les témoins pour les quatre échantillonnages (figure 6). Les semis enfouis se situent entre les deux autres traitements. La biomasse des racines adventives ne représente qu'une faible proportion de la biomasse racinaire totale mais son augmentation est relativement importante (figure 7).

Un phénomène de défilement inverse (diamètre inférieur de la partie enfouie de la tige) est observé chez les semis dont la tige a été enfouie et pré-enfouie (figure 8). Pour ces deux méthodes de plantation le diamètre au collet est plus petit que le diamètre à 5 cm au-dessus du collet.

Le facteur Sol affecte très peu les variables mesurées (tableau 13, 14 et 15). Le diamètre à 5 cm au-dessus du collet était significativement différent en 1999 et la biomasse des racines adventives en 1998. Quelques interactions significatives sont observées (tableau 13, 14 et 15). Aucune de ces interactions n'est présente après 1998.

Semis sans racines adventives et avec racines adventives

La séparation à posteriori des semis avec et sans racines adventives sans tenir compte des facteurs expérimentaux permet d'observer des différences significatives (tableau 17). Les semis ayant développé des racines adventives avaient une meilleure croissance (tableau 18). La croissance en hauteur était supérieure chez les semis ayant des racines adventives en 1997, 1998 et 1999. Le diamètre au collet est plus grand pour les semis ayant des racines adventives en 1997 et le diamètre à 5 cm au-dessus du collet est plus grand pour les semis ayant des racines adventives en 1999. La biomasse de la tige est plus grande pour les semis ayant des racines adventives en 1997 et 1998.

Lot commercial

Le lot 4 (production commerciale), mis en terre au même moment que les trois lots produits à l'UQAC (lot 1, 2 et 3), s'est comporté sensiblement de la même façon que les autres (tableau 19). Le taux de survie était de 99% en 1996, de 95% en 1997, de 91% en 1998 et de 90% en 1999. La proportion de semis avec des racines adventives est de 16% en 1996, de 40% en 1997, de 51% en 1998 et de 64% en 1999.

DISCUSSION

Survie de la plantation

En 1999, un taux de survie moyen de 86% a été obtenu pour cette plantation de 1996, ce qui est légèrement inférieur à celui des plantations équivalentes au Saguenay Lac St-Jean suivies par le Ministère des Ressources Naturelles du Québec, lequel se situe à plus de 90% huit année après la plantation (Forêt Québec, 1998). Plusieurs semis ont été affectés par deux gels tardifs qui ont eu lieu les 27 et 31 mai 1998, ces gels semblent avoir affecté négativement la survie des plants. En effet, le taux de survie est passé de 95% en 1997 à 88% en 1998. La mortalité était significativement plus élevée chez les semis dont la tige était enfouie les deux années suivant la plantation mais le taux de survie ne se distingue plus des plantations témoins les années suivantes. Le stress créé par l'enfouissement de la tige dans le sol au moment de la plantation, lequel s'ajoute au stress de la plantation pourrait en être responsable. Les semis pré-enfouis ont également subi ce stress, mais en serre sous des conditions plus favorables. Selon la littérature, un léger enfouissement n'affecte pas la survie des semis de conifères (Mullin, 1964, 1966 ; Sutton, 1967 ; Stroempl, 1990). Le pourcentage de survie est plus faible dans les sols avec de la matière organique en 1999. Les gels tardifs du printemps 1998 en sont peut-être responsables.

Croissance et racines adventives

Le facteur Lot a un effet significatif sur plusieurs paramètres de croissance l'année de la plantation. En 1999, seule la hauteur de la tige présente encore des différences significatives entre les lots. La présence d'un lot provenant de verger à graine (lot 1) ne semble pas être responsable de ces différences.

La date de plantation influence significativement la croissance. Les semis mis en terre en juin avaient une meilleure croissance que ceux plantés plus tardivement malgré une biomasse des racines non-adventives inférieure les deux premières années. Le développement du système racinaire dans les récipients sur les aires de croissance aurait été plus important que celui des semis plantés sur le terrain en juin. Le stress de la plantation combiné avec les conditions plus favorables prévalant sur les aires de croissance pourraient en être responsable. Malgré la biomasse des racines non-adventives plus faible des semis plantés en juin, leurs parties aériennes étaient semblables au départ, mais les mesures prises les années subséquentes montrent que le développement de la tige des semis plantés en juin était plus important par rapport aux semis des deux dernières dates de plantation. Les semis plantés en juin auraient profité des quelques semaines supplémentaires passés sur le terrain pour s'adapter aux conditions y prévalent, ce qui pourrait leur avoir conféré un avantage dès la saison de croissance suivante. Leur système racinaire moins développé aurait également pu faciliter leur adaptation au terrain. D'ailleurs, Sutton (1995) indique que des ajustements majeurs sont nécessaires avant que le système racinaire d'un semis planté s'adapte à son nouvel environnement.

L'enfouissement, qu'il ait lieu lors de la production ou au moment de la plantation, permet d'obtenir rapidement une forte proportion de semis avec des racines adventives. Le système racinaire de ces plants se développent différemment de celui des semis témoins. La biomasse des racines non-adventives est plus faible pour les semis enfouis et pré-enfouis. Le système racinaire adventif remplacerait graduellement le système racinaire initial (Lebarron, 1945, McClain, 1981). Par contre la croissance de la partie aérienne des semis enfouis et pré-enfouis ne semble

aucunement gênés par ce système racinaire réduit. La hauteur de la tige des semis enfouis et pré-enfouis est plus grande que les semis témoins trois ans après la plantation. Sutton (1995) observe également une croissance supérieure en hauteur chez les semis d'épinette noire enfouies. Selon lui, ce gain disparaîtrait après les premières années. La réallocation du carbone des parties de tige enfouies vers les parties non-enfouies en serait responsable.

La proportion de semis qui développent des racines adventives semble vouloir plafonner aux environ de 60%. Les semis pré-enfouis auraient atteint ce plateau en 1998 et les semis enfouis auraient presque atteint ce plateau en 1999, un an après les semis pré-enfouis. Même les semis plantés de façon standard montrent un bon potentiel de développement de racines adventives. En effet, en 1999, 25% de ces semis en ont développé et ce phénomène semble s'accroître. L'enfouissement après plantation de la tige ou l'accumulation de débris autour de la tige étant des conditions essentielles au développement des racines adventives (Lebarron, 1945 ; McClain, 1981 ; Stroempl, 1990 ; Aubin, 1996 ; Cloutier et Fillion, 1995), ces semis plantés au collet auraient donc été enfouis de façon naturelle.

Le défilement inverse, phénomène observé chez l'épinette noire adulte qui consiste en un ralentissement de la croissance du diamètre de la partie de la tige enfouie dans le sol (DesRocher, 1997), est plus marqué chez les semis pré-enfouis que chez les semis enfouis. Ces derniers ayant été enfouis à un stade plus avancé. Les semis témoins plantés au collet présentent plutôt le défilement standard. Le facteur Sol n'affecte pas la proportion de semis ayant des racines adventives et affecte peu la croissance des semis.

Semis sans racines adventives et avec racines adventives

Les semis qui possèdent des racines adventives sont plus grands malgré une biomasse de racines non-adventives inférieures et cette tendance augmente à chaque échantillonnage. La présence de racines adventives semble permettre à ces semis une meilleure croissance.

Lot commercial

Le comportement du lot commercial est sensiblement le même que celui des trois lots expérimentaux tant pour la survie et le développement des racines adventives que pour la croissance des plants. Les traitements utilisés semblent être applicables commercialement.

CONCLUSION

Quatre années d'échantillonnage permettent d'observer que certains effets ponctuels disparaissent avec le temps alors que des tendances générales se manifestent. La plantation de juin donne un avantage de croissance au semis mais les plantations plus tardives d'août et septembre ont également une bonne croissance. Il reste donc à voir si cet avantage de la plantation de juin va s'accroître avec le temps. Jusqu'à présent, le type de sol affecte peu la croissance des semis mais la présence de matière organique aurait possiblement une influence négative sur la survie.

L'enfouissement des semis pendant la période de production ou lors de la plantation permet un développement prononcé des racines adventives et il désavantage le développement du système racinaire non-adventif. L'importance quantitative des racines adventives demeure toutefois mineure par rapport au système racinaire non-adventif. Les plants qui ont été enfouis ne sont aucunement désavantagés dans leur croissance. Malgré un système racinaire plus petit, les semis qui ont été enfouis ont une hauteur de tige moyenne supérieure aux témoins, la présence de racines adventives semblant en être responsable. Ces racines, quoique moins nombreuses, sont peut-être plus efficaces que le système racinaire de base. Leur position sur la tige plus près des parties aériennes et leur étalement plus en surface pourrait expliquer cette efficacité supérieure. Les racines adventives ne nuisent donc pas à la croissance et à la survie des plants, bien au contraire, mais il est encore tôt pour confirmer qu'elles leur donnent un avantage significatif à plus long terme. Il sera intéressant de voir si les débuts de tendance exprimée par les résultats présentés dans ce rapport se poursuivent car, si tel est le cas, l'enfouissement des semis est prometteur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Armson, K. A. 1972. Distribution of conifer seedling roots in a nursery soil. *The Forestry Chronicle* 48, 141-143.
- Aubin, K. N. 1996. Influence du contenu en eau du substrat et de la profondeur de plantation sur la formation de racines adventives caulinaires, la croissance et l'allocation glucidique de semis d'épinette noire. Mémoire de maîtrise. UQAC. 105 p.
- Cloutier, J. et L. Fillion. 1995. Analyse dendrométrique d'une frange forestière soumise à l'entourbement sur une île centrale du lac Bienville, Québec subarctique. Recueil des résumés de communication, 63ième congrès de l'Acfas, UQAC, p. 47.
- DesRocher, A. et Gagnon, R. 1997. Is ring count at ground level a good estimation of black spruce age ? *Can. J. For. Res.* 27 : 1263-1267.
- Forêt Québec. 1998. Performance des plantations établies par le Ministère des Ressources naturelles dans les forêts publiques du Québec, de 1986 à 1995. Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, 124 pp.
- Kirk, R. E. 1968. *Experimental design : procedures for behavioral sciences*. Baylor University. 577 pp.
- LeBarron, R. K. 1945. Adjustment of black spruce root system to increasing depth of peat. *Ecology*, 26(3) : 309-311.
- Lord, D., Morissette, S. et Allaire, J. 1993. Influence de l'intensité lumineuse, de la température nocturne de l'air et de la concentration en CO₂ sur la croissance de semis d'épinette noire (*Picea mariana*) produits en récipients en serres. *Can.J.For.Res.* 23: 101-110.
- McLain, K. M. 1981. Growth, nutrition and root development of ontario tubeling, plugs and 3+0 bare-root black spruce. *Proceeding of the Canadian Containerized Tree Seedling Symposium*, septembre 1981. SCF, MNR. Toronto. 331-342
- Mullin, R.E. 1964 Influence of planting depth on survival and growth of red pine. *Forestry chronicle* 40 : 384-391
- Mullin, R.E. 1966 Influence of depth and method of planting on white spruce. *Journal of forestry* 64 : 466-468
- SAS Institutes Inc. 1990. *SAS/STAT™ User's Guide Release 6.04 Edition*. Cary, NC : SAS Institutes Inc. , 1686 pp.
- Scherrer, B. 1984. *Biostatistique*. Gaétan Morin éditeur. Québec, Canada, 850 pp.

- Stroempl, G. 1990. Deeper planting of seedlings and transplants increase plantation survival. *Tree Planter's Notes*, 41(4) : 17-21.
- Strong, W. L. and La Roi, G. H. 1983 Root-system morphology of commun boreal forest trees in Alberta, Canada. 13, 1164-1173.
- Sutton, R.F. 1967 Influence of planting depth on early growth of conifers. *Commonwealth Forestry Review* 46 : 282-295
- Sutton, R. F. 1995 Advantages of deep planting black spruce. Sault-Ste-Marie, Ont.: Can. For. Serv. Great Lakes For. Centre Tech. Note no. 50: 1-3.
- Sutton, R.F. and Tinus, R.W. 1983. Root and root system terminology. *For. Sci. Monogr.* 24 pp.
- Zar, J. H. 1984 Biostatistical analysis. 2 ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall

REGROUPEMENT DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1 : Caractéristiques des quatre lots de graines fournies par le Centre de semences forestières de Berthier.

Lot	Provenance *	Nombre de semence/ Kg *1000	Zone écologique	Latitude	Longitude	Date de récolte
1	EPN-VI-025-K13-026-94	848	Verger	49°50'	74°50'	1994
2	EPN-AI-12B-K91-025-90	954	Boréale	49°40'	72°50'	1990
3	EPN-NI-12B-K91-025-84	1082	Boréale	49°40'	72°50'	1984
4	EPN-NI-11A-Y32-024-88	886	Boréale	49°54'	71°15'	1988

*numérotation du Centre de semences forestières de Berthier

Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques des semis produit à l'UQAC au moment de la plantation.

Date de plantation	Type de production	Lot	Hauteur (mm)	Diamètre collet (mm)	Biomasse tige (g)	Biomasse racines non- adventives (g)	Nombre de racines adventives
Juin	Standard	1	182	1.86	0.9738	0.4334	0
		2	183	2.08	0.9686	0.3817	0
		3	184	1.82	0.6757	0.3406	0
	Pré-enfoui	1	191	2.06	1.1538	0.4990	0
		2	208	1.79	0.7974	0.3313	0
		3	159	1.72	0.5292	0.3282	0
Août	Standard	1	164	1.81	0.6872	0.5850	0
		2	174	2.40	1.0968	0.8739	0
		3	182	2.27	0.7623	0.5777	0
	Pré-enfoui	1	188	2.33	1.1905	0.7344	0
		2	181	2.15	0.7317	0.5694	0
		3	167	1.77	0.5410	0.4271	0
Septembre	Standard	1	194	2.08	0.9348	0.7539	0
		2	179	2.18	0.8182	0.7867	0
		3	176	1.91	0.6681	0.4926	1
	Pré-enfoui	1	196	2.61	1.3431	1.0784	0
		2	192	2.04	0.7832	0.7432	1
		3	162	1.94	0.6008	0.5625	0

Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques des semis produit dans une pépinière privée au moment de la plantation.

Date	Type de production	Hauteur (mm)	Diamètre collet (mm)	Biomasse tige (g)	Biomasse racines non-adventives (g)	Nombre de racines adventives
Juin	Standard	207	2.66	1.2211	0.3790	0
	Pré-enfoui	229	2.29	1.1489	0.2373	2
Août	Standard	260	3.08	1.7712	0.5063	0
	Pré-enfoui	263	2.51	1.5395	0.3639	6
Septembre	Standard	263	2.84	1.6121	0.6219	1
	Pré-enfoui	301	2.87	2.1607	0.8133	9

Tableau 4 : Schéma d'un bloc expérimental. La distribution des combinaisons de traitements dans chacun des blocs a été faite au hasard.

		Lot								
		1			2			3		
Date de plantation	Type de Sol	Méthode de plantation			Méthode de plantation			Méthode de plantation		
		Pré-enfoui	Enfoui	Collet	Pré-enfoui	Enfoui	Collet	Pré-enfoui	Enfoui	Collet
Juin	ORG	7*	7	7						
	MIN	7	7	7						
	O-M	7	7							
Août	ORG									
	MIN									
	O-M									
Septembre	ORG									
	MIN									
	O-M									

* un semis par parcelle-récolte et sept récoltes prévues sur dix ans.

ORG : sol organique

MIN : sol minéral

O-M : mince couche de sol organique (5 cm) sur du sol minéral

Tableau 5 : Analyse de Khi-carré du taux de survie en fonction des lots pour les quatre années d'échantillonnage.

	Lot			Khi-carré
	1	2	3	
Année	%	%	%	<i>p</i>
1996	99	99	100	0.715
1997	95	95	96	0.420
1998	89	87	88	0.430
1999	89	84	86	0.107

Tableau 6 : Analyse de Khi-carré du taux de survie en fonction des dates de plantation pour les quatre années d'échantillonnage.

	Date de plantation			Khi-carré
	Juin	Août	Septembre	
Année	%	%	%	<i>p</i>
1996	99	99	100	0.366
1997	94	96	96	0.578
1998	86	89	89	0.302
1999	85	88	87	0.343

Tableau 7 : Analyse de Khi-carré du taux de survie en fonction des méthodes de plantation pour les quatre années d'échantillonnage.

	Méthode de plantation			Khi-carré
	Enfoui	Pré-enfoui	Témoin	
Année	%	%	%	<i>p</i>
1996	100	99	100	0.190
1997	93	97	97	0.001
1998	85	89	90	0.042
1999	86	86	87	0.935

Tableau 8 : Analyse de Khi-carré du taux de survie en fonction des types de sol pour les quatre années d'échantillonnage.

Années	Sol			Khi-carré <i>p</i>
	MIN	O-M	ORG	
	%	%	%	
1996	99	99	99	0.911
1997	95	94	96	0.295
1998	90	85	88	0.099
1999	90	83	85	0.015

ORG : sol organique

MIN : sol minéral

O-M : mince couche de sol organique (5 cm) sur du sol minéral

Tableau 9 : Pourcentage de semis ayant développé des racines adventives en fonction de la méthode de plantation et du type de sol pour les quatre années d'échantillonnage.

Méthode de plantation	Sol	Années			
		1996	1997	1998	1999
Pré-enfoui	ORG	11.0	46.5	69.0	65.9
	MIN	4.4	48.9	61.5	65.0
	O-M	0	53.7	73.2	63.2
	Moyenne	5.2	49.6	68.0	64.7
Enfoui	ORG	0	26.2	34.1	45.7
	MIN	0	37.8	58.8	64.9
	O-M	0	25.0	36.8	64.9
	Moyenne	0	29.8	42.2	58.7
Collet	ORG	0	0	4.7	19.4
	MIN	0	11.6	4.8	29.3
	Moyenne	0	5.8	4.7	24.7
Moyenne		2.0	31.2	42.1	52.5

ORG : sol organique

MIN : sol minéral

O-M : mince couche de sol organique (5 cm) sur du sol minéral

Tableau 10 : Analyse de Khi-carré du nombre de semis ayant développés des racines adventives en fonction des dates de plantation pour les quatre années d'échantillonnage.

Années	Date de plantation			Khi-carré <i>p</i>
	Juin %	Août %	Septembre %	
1996	1	1	4	0.097
1997	28	37	29	0.316
1998	44	38	44	0.590
1999	43	58	57	0.069

Tableau 11 : Analyse de Khi-carré du nombre de semis ayant développés des racines adventives en fonction des méthodes de plantation Enfoui et Pré-enfoui pour les quatre années d'échantillonnages.

Années	Méthode de plantation		Khi-carré <i>p</i>
	Enfoui %	Pré-enfoui %	
1996	0	5	0.007
1997	30	50	0.001
1998	42	68	0.001
1999	59	65	0.352

Tableau 12 : Analyse de Khi-carré du nombre de semis ayant développés des racines adventives en fonction des types de sol minéral et organique pour les quatre années d'échantillonnages.

Années	Sol		Khi-carré <i>p</i>
	MIN %	ORG %	
1996	2	4	0.251
1997	33	24	0.114
1998	40	36	0.485
1999	53	45	0.231

ORG : sol organique

MIN : sol minéral

Tableau 13 : Valeur de P de l'analyse de variance de la hauteur de la tige et du diamètre au niveau du collet et à 5 cm au-dessus du collet (1999 seulement).

Source de variation	dl	Hauteur				Diamètre collet				Diamètre 5 cm
		1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999	1999
		<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
Lot (L)	2	0.0003	0.0001	0.0228	0.0496	0.0001	0.7763	0.9916	0.6873	0.7175
Date (D)	2	0.7571	0.0001	0.0059	0.0161	0.5511	0.0175	0.0124	0.0023	0.0058
Méthode (M)	2	0.0024	0.0026	0.0079	0.0130	0.0001	0.0420	0.0056	0.0023	0.4247
Sol (S)	2	0.6379	0.0104	0.7889	0.2262	0.8516	0.3362	0.0676	0.3625	0.0198
L*D	4	0.2168	0.3346	0.8201	0.7900	0.0248	0.6244	0.6357	0.8324	0.6550
L*M	4	0.0005	0.4528	0.9591	0.7525	0.0084	0.8565	0.9539	0.9273	0.6266
L*S	4	0.7849	0.3373	0.4009	0.4415	0.2308	0.7196	0.9337	0.9195	0.9327
D*M	4	0.7805	0.2319	0.7682	0.2375	0.4655	0.8867	0.0223	0.0888	0.1234
D*S	4	0.6848	0.1501	0.7474	0.9138	0.8528	0.9865	0.4354	0.4826	0.6319
M*S	3	0.7679	0.2671	0.0601	0.2301	0.8047	0.1887	0.0601	0.1469	0.1963
L*D*M	8	0.2497	0.0379	0.4762	0.6432	0.5733	0.9789	0.2724	0.9420	0.8246
L*D*S	8	0.3864	0.8711	0.9477	0.3828	0.7372	0.9948	0.9381	0.4542	0.3741
L*M*S	6	0.7198	0.1559	0.4656	0.4483	0.8311	0.9974	0.7277	0.9140	0.7776
D*M*S	6	0.8564	0.3787	0.5793	0.3034	0.4851	0.7773	0.6448	0.4123	0.5560
L*D*M*S	12	0.4938	0.4307	0.9951	0.4614	0.9839	0.9172	0.6223	0.1831	0.1361
erreur		285	274	251	233	285	274	251	233	233

Tableau 14 : Valeur de P de l'analyse de variance de la biomasse sèche de la tige et des racines non-adventives.

Source de variation	dl	Biomasse tige				Biomasse racines non-adventives			
		1996	1997	1998	1999	1996	1997	1998	1999
		<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
Lot (L)	2	0.0001	0.2629	0.6269	0.7579	0.0154	0.4277	0.8620	0.2590
Date (D)	2	0.3119	0.0001	0.0019	0.0007	0.0001	0.0279	0.0566	0.5375
Méthode (M)	2	0.0001	0.8184	0.4203	0.2161	0.0001	0.0001	0.0201	0.0209
Sol (S)	2	0.8680	0.0912	0.7492	0.0516	0.0782	0.1055	0.0577	0.7733
L*D	4	0.2334	0.9081	0.9550	0.7279	0.5341	0.5716	0.8390	0.8516
L*M	4	0.0023	0.5983	0.6053	0.8467	0.1375	0.0300	0.6093	0.9273
L*S	4	0.7620	0.1699	0.8245	0.8966	0.9169	0.0177	0.8905	0.4766
D*M	4	0.7266	0.6414	0.5044	0.0834	0.9733	0.8019	0.1768	0.2021
D*S	4	0.8788	0.8588	0.8664	0.6462	0.7107	0.9648	0.7605	0.4779
M*S	3	0.5824	0.1412	0.0665	0.1691	0.3231	0.7396	0.0369	0.4927
L*D*M	8	0.1943	0.8662	0.7492	0.9260	0.7807	0.8496	0.3709	0.6187
L*D*S	8	0.9077	0.9393	0.9935	0.2101	0.8677	0.9855	0.3648	0.1157
L*M*S	6	0.6920	0.9621	0.7653	0.8674	0.8509	0.7800	0.7207	0.8326
D*M*S	6	0.9096	0.7663	0.1856	0.6823	0.1422	0.9122	0.1590	0.3870
L*D*M*S	12	0.4087	0.9400	0.8300	0.1611	0.8544	0.9735	0.7791	0.3170
erreur		285	274	251	233	285	274	251	233

Tableau 15 : Valeur de P de l'analyse de variance de la biomasse sèche des racines adventives.

Source de variation	dl	Biomasse racines adventives			
		1996	1997	1998	1999
		<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
Lot (L)	2	0.5554	0.0104	0.2266	0.3142
Date (D)	2	0.3235	0.4090	0.9307	0.7258
Méthode (M)	2	0.0257	0.1161	0.0093	0.0788
Sols (S)	2	0.2715	0.2187	0.0487	0.3798
L*D	4	0.5761	0.4916	0.0242	0.1654
L*M	4	0.4284	0.8187	0.8414	0.7023
L*S	4	0.6974	0.0687	0.7358	0.9658
D*M	4	0.1192	0.7904	0.7576	0.1948
D*S	4	0.3300	0.6493	0.0339	0.7910
M*S	3	0.4303	0.5805	0.3279	0.1139
L*D*M	8	0.3071	0.6910	0.1495	0.6325
L*D*S	8	0.7891	0.8823	0.0042	0.2556
L*M*S	6	0.7885	0.1131	0.3895	0.4563
D*M*S	6	0.3424	0.8728	0.4069	0.3644
L*D*M*S	12	0.9039	0.9685	0.8969	0.4213
erreur		285	274	251	233

Tableau 16 : Valeur moyenne des paramètres de croissances des semis en fonction de la date de plantation pour les quatre années d'échantillonnage. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes les unes des autres. Ces comparaisons ont été faites à l'intérieur de chaque date d'échantillonnage.

Années	Date de plantation	hauteur (mm)	Diamètre collet (mm)	Diamètre 5 cm (mm)	Biomasse tige (g)	Biomasse racines non-adventives (g)
1996	Juin	179.4	2.13		0.88	0.74a
	Août	178.0	2.09		0.84	0.86b
	Septembre	180.2	2.11		0.89	0.95b
1997	Juin	249.3a	3.19a		2.09a	1.09a
	Août	226.0b	2.90b		1.66b	1.13ab
	Septembre	227.7b	2.88b		1.55b	1.22b
1998	Juin	265.6a	3.47a		2.92a	1.02
	Août	252.4ab	3.25ab		2.40b	1.19
	Septembre	242.6b	3.00b		1.87b	1.13
1999	Juin	342.0a	5.15a	5.00a	8.77a	1.54
	Août	311.8b	4.20b	4.33b	5.40b	1.25
	Septembre	307.7b	4.02b	4.21b	4.88b	1.29

Tableau 17 : Valeur de P de l'analyse de variance des semis avec racines adventives et sans racines adventives des paramètres de croissance mesurés de 1996 à 1999.

Variables	1996	1997	1998	1999
Hauteur tige	0.4894	0.0042	0.0016	0.0015
Diamètre collet	0.9015	0.0235	0.8523	0.9976
Diamètre 5 cm				0.0001
Biomasse tige	0.2205	0.0034	0.0007	0.0703
Biomasse racines non-adventives	0.9918	0.0991	0.0732	0.1426

Tableau 18 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance des semis avec racines adventives et sans racines adventives pour les variables mesurées. Valeurs en caractère gras indique moyenne significativement différentes.

Années	Nombre de semis		Hauteur tige (mm)		Diamètre collet (mm)		Diamètre 5 cm (mm)		Biomasse tige (g)		Biomasse racines non-adventives (g)	
	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec	Sans	Avec
1996	350	7	180	186	2.11	2.13			0.87	0.74	0.85	0.85
1997	238	108	230	245	2.92	3.14			1.67	1.99	1.17	1.09
1998	187	136	246	264	3.23	3.25			2.09	2.80	1.16	1.04
1999	145	160	305	335	4.46	4.47	4.12	4.87	5.66	7.02	1.47	1.27

Tableau 19 : Valeurs moyennes des paramètres de croissance des semis des lots 1, 2 et 3 (uqac) et du lot 4 (privée) pour la date de plantation, la méthode de plantation et le type de sol pour l'année d'échantillonnage 1999.

		Hauteur tige (mm)		Diamètre collet (mm)		Biomasse tige (g)		Biomasse racines non-adventives (g)		Biomasse racines adventives (g)		Pourcentage des semis ayant des racines adventives	
		uqac	privée	uqac	privée	uqac	privée	uqac	privée	uqac	privée	uqac	privée
Date	J	340	371	5.2	6.6	8.8	13.5	1.6	2.2	0.1	0.1	43	60
	A	309	371	4.3	5.4	5.4	10.6	1.3	1.8	0.1	0.3	58	68
	S	304	352	4.1	4.6	4.9	6.6	1.3	1.4	0.1	0.1	57	65
Méthode	Tém	296	345	5.0	5.6	6.4	8.9	1.7	1.9	0.	0	25	35
	Enf	332	367	4.5	5.4	6.6	10.5	1.3	1.8	0.1	0.2	59	67
	Pré	326	382	4.1	5.5	6.1	11.2	1.2	1.7	0.1	0.3	65	82
Sol	ORG	307	368	4.3	5.6	5.4	9.8	1.4	1.7	0	0.2	45	49
	MIN	328	371	4.7	5.9	7.2	11.3	1.4	2.0	0.1	0.2	53	71
	O-M	318	354	4.6	5.1	6.4	9.6	1.4	1.8	0.1	0.1	64	79

J : plantation de juin, A : plantation d'août, S : plantation de septembre, Tém : témoin, Enf : enfoui, Pré : pré-enfoui, ORG : sol organique, MIN : sol minéral, O-M : mince couche de sol organique (5 cm) sur du sol minéral.

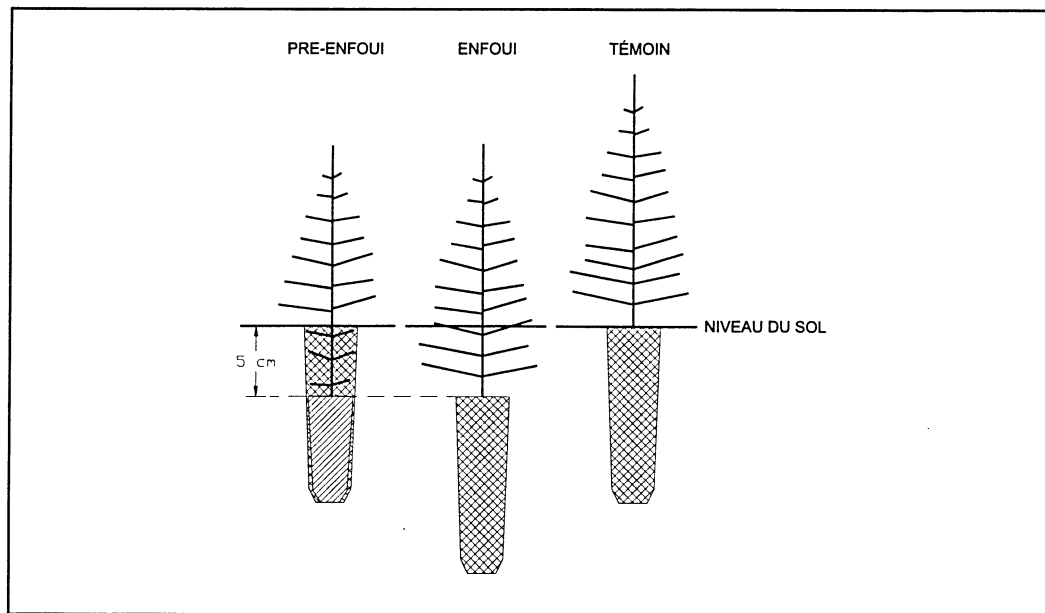


Figure 1 : Schéma des méthodes de plantation. Pré-enfoui signifie l'enfouissement des cinq premiers centimètres de tige 16 semaines après le début de la période de production ; enfoui signifie l'enfouissement des cinq premiers centimètres de tige lors de la plantation ; les semis témoins sont plantés au collet.

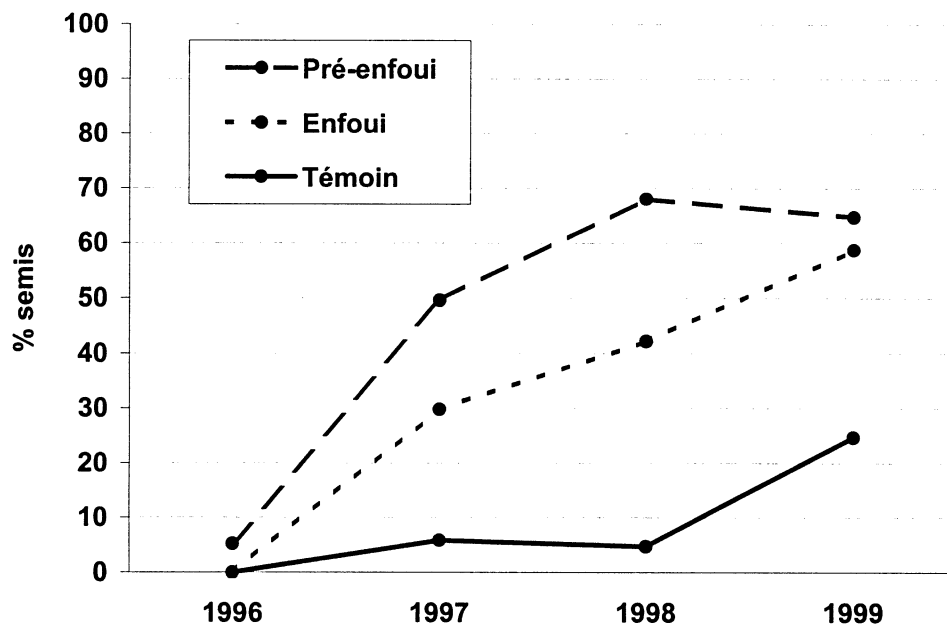


Figure 2 : Pourcentage de semis d'épinette noire ayant développé des racines adventives en fonction de la méthode de plantation pour les quatre années d'échantillonnage.

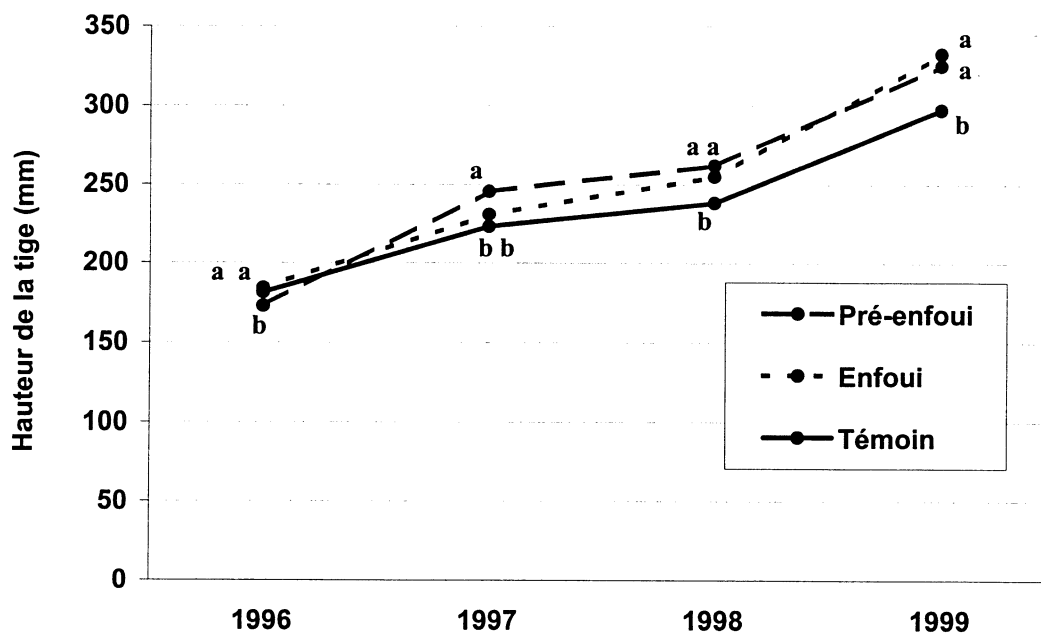


Figure 3 : Hauteur de la tige des semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour les quatre années d'échantillonnage. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes. Chaque échantillonnage a été analysé séparément.

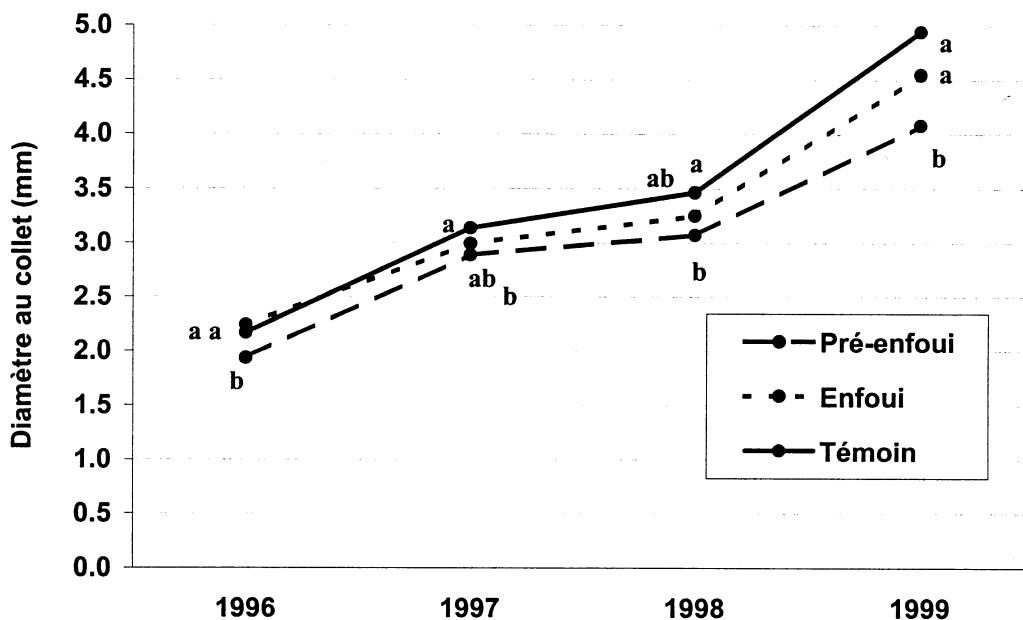


Figure 4 : Diamètre au niveau du collet des semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour les quatre années d'échantillonnage. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes. Chaque échantillonnage a été analysé séparément.

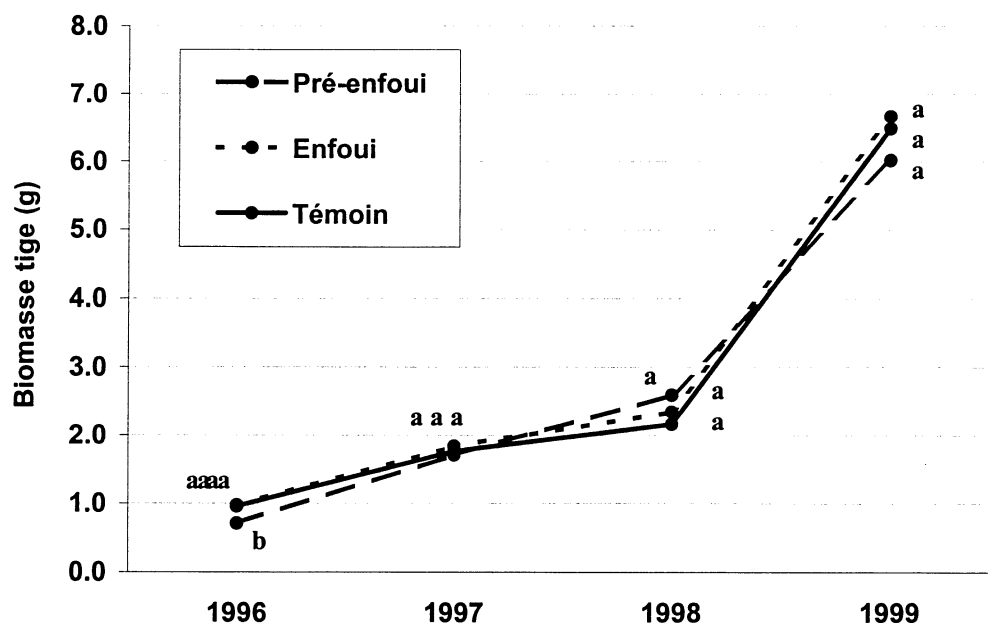


Figure 5 : Biomasse de la tige des semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour les quatre années d'échantillonnage. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes. Chaque échantillonnage a été analysé séparément.

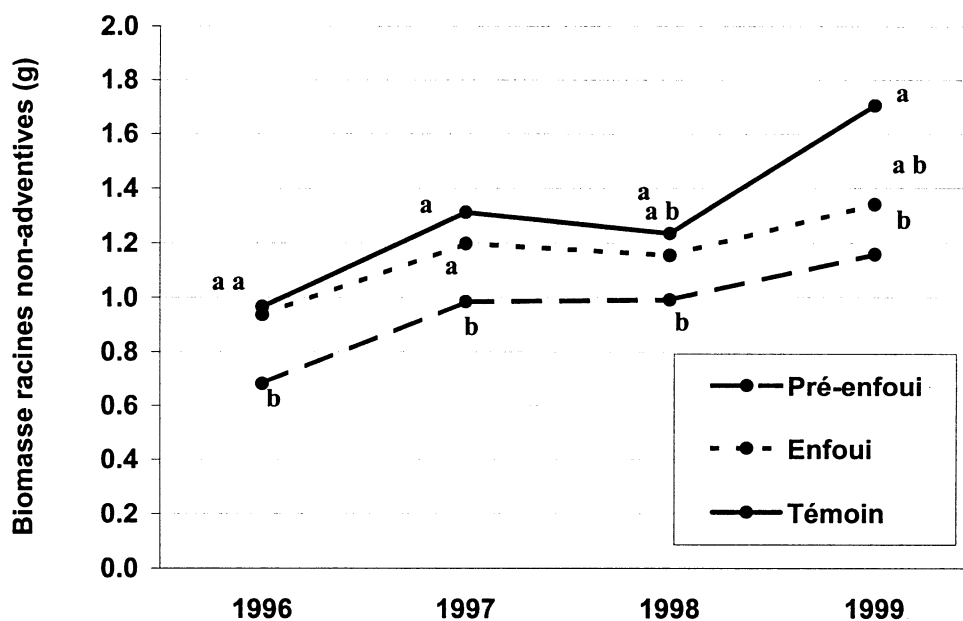


Figure 6 : Biomasse des racines non-adventives des semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour les quatre années d'échantillonnage. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes. Chaque échantillonnage a été analysé séparément.

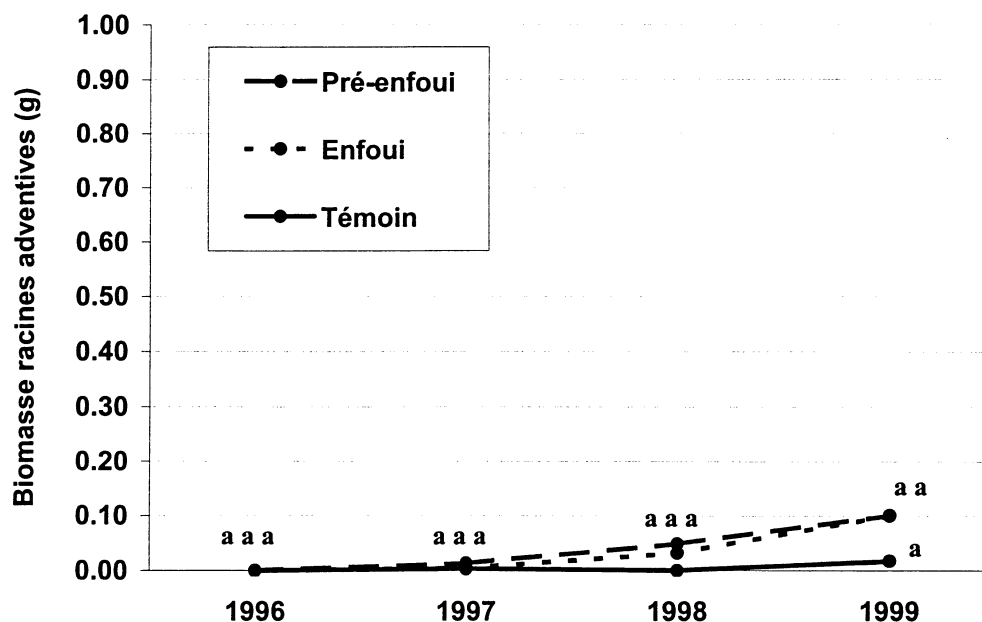


Figure 7 : Biomasse des racines adventives des semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation pour les quatre années d'échantillonnage. Les moyennes qui ne partagent pas la même lettre sont significativement différentes. Chaque échantillonnage a été analysé séparément.

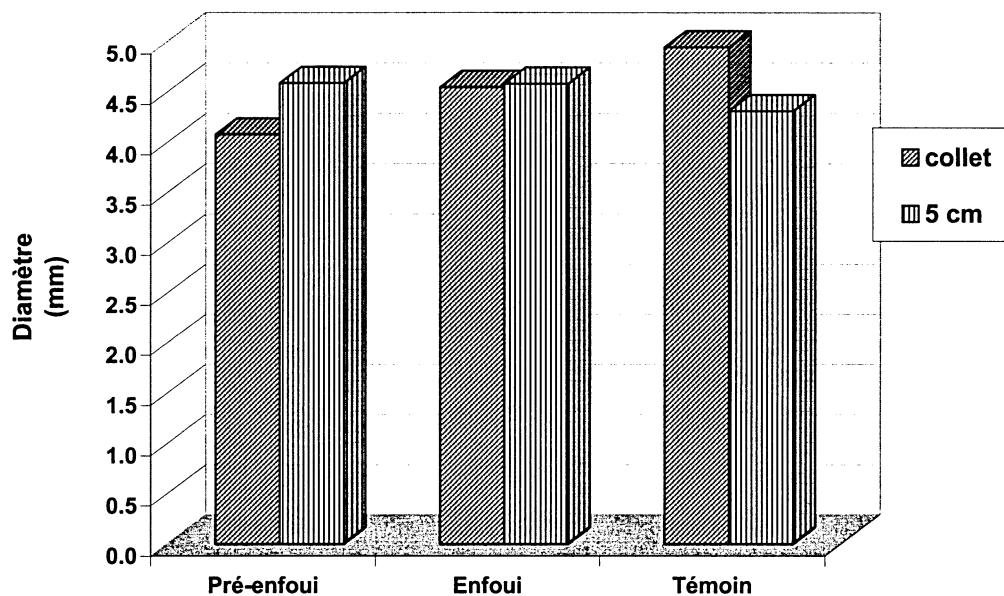


Figure 8 : Diamètre au niveau du collet et diamètre à 5 cm au-dessus du niveau du collet des semis d'épinette noire en fonction de la méthode de plantation trois ans après la plantation.

